

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-250731

(43)Date of publication of application : 27.09.1996

(51)Int.Cl.

H01L 29/78

(21)Application number : 07-351586

(71)Applicant : SILICONIX INC

(22)Date of filing : 26.12.1995

(72)Inventor : DARWISH MOHAMED N  
WILLIAMS RICHARD K

(30)Priority

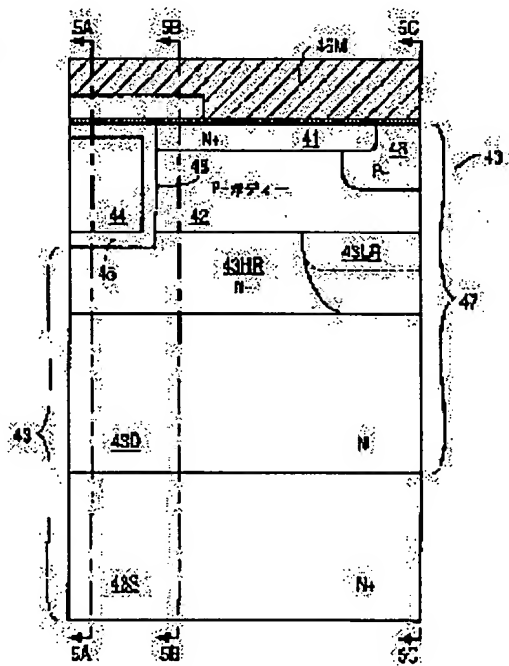
Priority number : 94 367516    Priority date : 30.12.1994    Priority country : US

(54) TRENCH MOSFET PROVIDED WITH BOTH HIGH BREAKDOWN VOLTAGE AND LOW ON-RESISTANCE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a vertical trench type MOSFET, which realizes a low ON-resistance, while maintaining high a breakdown voltage.

SOLUTION: A vertical-trench type MOSFET has a gate formed in a trench 48. A switching MOSFET 40 has a drain, which has a comparatively high-resistivity region adjacent to the trench 48 and a comparatively low-resistivity region provided at a place, where it is part from the trench 48. The drain includes also a delta layer having a resistivity lower than that of a delta layer in the central region of a cell of the MOSFET. By the high-resistivity region, a field strength in the edge parts (especially, the corner parts) of the trench 48 is limited and a gate oxide layer is avoided from being impaired. By the delta layer in the central part of the cell, the generation of a breakdown voltage is generated so as to concentrate on the vicinity of the central part, which is apart from the gate oxide layer, of the cell of the MOSFET. When the MOSFET 40 is at an on-state, an effect of lowering the resistivity of the MOSFET 40 is obtained.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 14.03.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-250731

(43) 公開日 平成8年(1996)9月27日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
H01L 29/78		9055-4M	H01L 29/78	652H
		9055-4M		653C

審査請求 未請求 請求項の数64 FD (全19頁)

(21) 出願番号 特願平7-351586

(22) 出願日 平成7年(1995)12月26日

(31) 優先権主張番号 08/367, 516

(32) 優先日 1994年12月30日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 591077450

シリコニックス・インコーポレイテッド  
SILICONIX INCORPORATEDアメリカ合衆国カリフォルニア州95054・  
サンタクララ・ローレルウッドロード  
2201

(72) 発明者 モハメッド・エヌ・ダーウィッシュ

アメリカ合衆国カリフォルニア州95070・  
サラトガ・アバディーンコート 12891

(74) 代理人 弁理士 大島 陽一 (外1名)

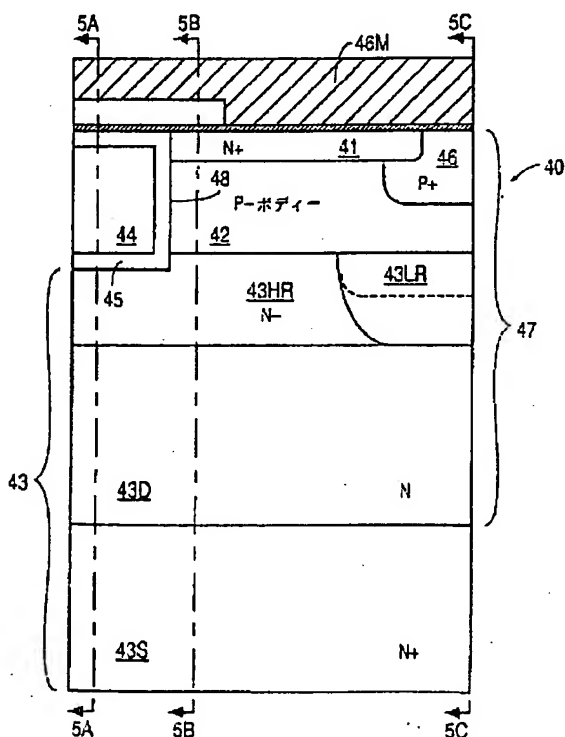
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高いブレイクダウン電圧と低いオン抵抗を兼ね備えたトレンチ型MOSFET

(57) 【要約】

【課題】 ブレイクダウン電圧を高く維持したまま、低いオン抵抗を実現するパーティカルトレンチ型MOSFETを提供する。

【解決手段】 トレンチ内に形成されたゲートを有する、スイッチングMOSFETが、前記トレンチに隣接する比較的高い抵抗率の領域と、トレンチから離れたところに設けられる比較的低抵抗率の領域とを有するドレインを有する。ドレインは、MOSFETセルの中央領域における抵抗率よりも更に低い抵抗率を有するデルタ層も含む。高い抵抗率の領域によって、トレンチのエッジ部分（特にコーナー部分）における電界強度が制限され、ゲート酸化層が損なわれることが回避される。中央部のデルタ層によって、ブレイクダウンの発生がゲート酸化層から離れたMOSFETセルの中央部近傍に集中するようにされ、かつオン状態のときにMOSFETの抵抗率を下げる効果が得られる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 トレンチとその中に配置されたゲートとを有する半導体メンバと、

前記半導体メンバに於て前記トレンチに隣接して配置された第1導電型のソース領域と、

前記半導体メンバに於て前記ソース領域に隣接して配置された第2導電型のボディ領域と、

前記半導体メンバに於て前記ボディ領域に隣接して配置された前記第1導電型のドレイン領域とを有するMOSFETであって、

前記ドレイン領域が、

濃いドーブをなされた領域と、

前記濃いドーブをなされた領域の上層をなし、かつ隣接するように配置され、前記濃いドーブをなされた領域に於ける前記第1導電型のドーパント濃度よりも低い前記

第1導電型のドーパント濃度を有するドリフト領域と、前記トレンチの底部に隣接して設けられた高い抵抗率との領域とを有し、

前記高い抵抗率の領域が前記ドリフト領域に於ける前記第1導電型のドーパント濃度よりも低い前記第1ドーパント濃度を有することを特徴とするMOSFET。

【請求項2】 前記高い抵抗率の領域が前記トレンチの側壁の一部に接触するように設けられることを特徴とする請求項1に記載のMOSFET。

【請求項3】 前記MOSFETが少なくともその2つの面を前記ゲートによって囲まれたセルを有することを特徴とする請求項1に記載のMOSFET。

【請求項4】 前記トレンチから横向きに隔てられ、かつ前記セルの中央領域に於て前記ボディ領域の下層をなすように配置されたデルタ層を更に有し、前記デルタ層が、前記高い抵抗率の領域に於ける前記第1導電型の前記ドーパント濃度よりも高い前記第1導電型のドーパント濃度を有することを特徴とする請求項3に記載のMOSFET。

【請求項5】 前記トレンチから横向きに隔てられ、かつ前記セルの中央領域に於て前記ボディ領域の下層をなすように配置されたデルタ層を更に有し、前記デルタ層が、前記高い抵抗率の領域に於ける抵抗率よりも低い抵抗率を有することを特徴とする請求項3に記載のMOSFET。

【請求項6】 前記デルタ層が、前記ドリフト領域、前記ボディ領域、及び前記高い抵抗率の領域によって取り囲まれることを特徴とする請求項4に記載のMOSFET。

【請求項7】 前記デルタ層が、前記ボディ領域及び高い抵抗率の領域によって取り囲まれることを特徴とする請求項4に記載のMOSFET。

【請求項8】 前記ドレイン領域が、前記高い抵抗率の領域の上層をなし、かつ前記セルを完全に横切る長さだけ延在するデルタ層を更に有し、

前記デルタ層が、前記高い抵抗率の領域に於ける前記第1導電型の前記ドーパント濃度よりも大きい前記第1導電型のドーパント濃度を有することを特徴とする請求項3に記載のMOSFET。

【請求項9】 前記高い抵抗率の領域及び前記ドリフト領域が、エピタキシャル層の中に形成されることを特徴とする請求項1に記載のMOSFET。

【請求項10】 前記エピタキシャル層が、基板の表面上に形成されることを特徴とする請求項9に記載のMOSFET。

【請求項11】 前記高い抵抗率の領域が、前記トレンチのコーナー部分に接触するように設けられることを特徴とする請求項1に記載のMOSFET。

【請求項12】 前記デルタ層が、前記トレンチの底部よりも低い位置まで延在することを特徴とする請求項4に記載のMOSFET。

【請求項13】 前記ボディ領域が、前記デルタ層の上側境界部分に接触するように設けられる深い中央部の濃いドーブをなされた領域を有することを特徴とする請求項4に記載のMOSFET。

【請求項14】 前記ボディ領域が、深い中央部分の濃いドーブをなされた領域を有することを特徴とする請求項8に記載のMOSFET。

【請求項15】 前記深い中央部分の濃いドーブをなされた領域が、前記デルタ装置の上側境界部分に接触するように設けられることを特徴とする請求項14に記載のMOSFET。

【請求項16】 前記深い中央部分の濃いドーブをなされた領域が、前記デルタ層から隔てられて設けられることを特徴とする請求項14に記載のMOSFET。

【請求項17】 前記セルが、多角形の格子形状のゲートによって外囲される形で設けられることを特徴とする請求項3に記載のMOSFET。

【請求項18】 前記セルが、平行なストライプ形状トレンチ型ゲートの間に形成されることを特徴とする請求項3に記載のMOSFET。

【請求項19】 前記濃いドーブをなされた領域が、第2導電型の下側領域の上層をなすことを特徴とする請求項1に記載のMOSFET。

【請求項20】 前記第1導電型のシンカー領域を有し、

前記シンカー領域が、前記濃いドーブをなされた領域と前記基板の表面との間に延在することを特徴とする請求項19に記載のMOSFET。

【請求項21】 デルタ層を更に有し、前記デルタ層が、前記高い抵抗率の領域に於ける前記ドーパント濃度よりも高い前記第1導電型のドーパント濃度を有することを特徴とする請求項20に記載のMOSFET。

【請求項22】 ウエハ上に形成されることを特徴と

し、  
前記デルタ層がこの時前記ウエハを横切って延在することを特徴とする請求項8に記載のMOSFET。

【請求項23】 前記デルタ層の間にゲートトレンチのパターンが挟まれる形で設けられることを特徴とする請求項22に記載のMOSFET。

【請求項24】 半導体材料に於けるMOSFETの製造方法であって、  
基板を設ける過程と、  
エピタキシャル層を成長させる過程と、  
前記エピタキシャル層が成長させられている間の時間の少なくとも一部の時間、前記エピタキシャル層に第1導電型のドーパントを導入する過程と、  
高い抵抗率の領域を訂正するために前記エピタキシャル層に導入される前記第1導電型の前記ドーパントを薄くする過程と、  
前記半導体材料にトレンチをエッチングする過程と、  
前記トレンチ内に絶縁されたゲートを形成する過程と、  
ボディ領域を形成するために、前記半導体材料に第2導電型のドーパントを導入する過程と、  
ソース領域を形成するために、前記半導体材料に前記第1導電型のドーパントを導入する過程とを有することを特徴とするMOSFETの製造方法。

【請求項25】 前記第1導電型の前記ドーパントの濃度を薄くする過程が、前記第1導電型の前記ドーパントの濃度を第1濃度から第2濃度へ急激に低下させる過程を含むことを特徴とする請求項24に記載の方法。

【請求項26】 前記第1導電型の前記ドーパントの濃度を薄くする過程が、前記第1導電型の前記ドーパントの濃度を徐々にかつ単調に低下させる過程を含むことを特徴とする請求項24に記載の方法。

【請求項27】 前記トレンチをエッチングする過程が、前記ボディ領域を形成するべく前記第2導電型のドーパントを導入する過程より前に実施されることを特徴とする請求項24に記載の方法。

【請求項28】 前記トレンチをエッチングする過程が、前記ボディ領域を形成するべく前記第2導電型のドーパントを導入する過程より後に実施されることを特徴とする請求項24に記載の方法。

【請求項29】 前記トレンチをエッチングする過程が、MOSFETセルを形成するために前記トレンチをエッチングする過程を含むことを特徴とする請求項24に記載の方法。

【請求項30】 前記MOSFETセルが、平行なストライプ形状に設けられたトレンチの間に形成されることを特徴とする請求項29に記載の方法。

【請求項31】 前記MOSFETセルが、多角形の形状に形成されることを特徴とする請求項29に記載の方法。

【請求項32】 中央拡散領域を形成するために、前

記MOSFETセルの中央部近傍に前記第2導電型の前記ドーパントを導入する過程を更に有することを特徴とする請求項29に記載の方法。

【請求項33】 前記中央部の拡散領域が、前記トレンチの底部より下の位置まで延在することを特徴とする請求項32に記載の方法。

【請求項34】 前記トレンチの横に配置されたデルタ層を形成するために、前記第1導電型のドーパントを導入する過程を更に有し、

10 前記デルタ層が、前記高い抵抗率の領域における前記第1導電型の前記ドーパント濃度を有することを特徴とする請求項24に記載の方法。

【請求項35】 前記デルタ層が、前記半導体材料に前記第1導電型の前記ドーパントを注入することによって形成されることを特徴とする請求項34に記載の方法。

【請求項36】 前記デルタ層が、前記エピタキシャル層の成長過程において、前記第1導電型の前記ドーパントを導入することによって形成されることを特徴とする請求項34に記載の方法。

20 【請求項37】 前記デルタ層が、前記トレンチの側壁に至るまで横向きに延在することを特徴とする請求項35に記載の方法。

【請求項38】 前記トレンチの側壁に至るまで延在することのないように前記デルタ層を形成すべく、前記第1導電型の前記ドーパントを導入する前にマスクを形成する過程を更に有することを特徴とする請求項35に記載の方法。

30 【請求項39】 前記マスクが、前記半導体材料の表面においてコンタクト領域を開けるのにも用いられることを特徴とする請求項38に記載の方法。

【請求項40】 前記第1導電型の前記ドーパントの濃度を薄くする過程が、前記第1導電型の前記ドーパントの濃度を第1濃度から第2濃度へ急激に低下させる過程を含むことを特徴とする請求項38に記載の方法。

【請求項41】 前記トレンチをエッチングする過程が、MOSFETセルを形成するために前記トレンチをエッチングする過程を含むことを特徴とする請求項38に記載の方法。

40 【請求項42】 中央拡散領域を形成するために、前記MOSFETセルの中央部近傍に前記第2導電型の前記ドーパントを導入する過程を更に有することを特徴とする請求項41に記載の方法。

【請求項43】 前記中央部の拡散領域が、前記マスクを通して形成されることを特徴とする請求項42に記載の方法。

【請求項44】 前記マスクが、前記半導体材料の表面においてコンタクト領域を開けるのにも用いられることを特徴とする請求項43に記載の方法。

50 【請求項45】 基板と、

前記基板上に形成されたトレンチであって、前記基板から絶縁されたゲートが前記トレンチの中に配置される、該トレンチと、

前記基板の上側表面と前記トレンチの側壁に隣接するように配置された第1導電型のソース領域と、

前記ソース領域と前記側壁とに隣接して配置された第2導電型のボディ領域と、

前記トレンチの底部に隣接し、かつ前記ボディ領域の下側に配置された前記第1導電型の多重抵抗率式ドレイン領域とを有し、

前記多重抵抗率式ドレイン領域が、比較的低い抵抗率の第1領域と、

前記第1領域よりも大きい抵抗率を有し、一般に前記第1領域の上側に隣接して配置される第2領域と、

前記第2領域よりも大きい抵抗率を有し、前記第2領域の上側に配置され、かつ前記トレンチの底部に接触するように設けられる第3領域とを有することを特徴とするトレンチ型MOSFET。

【請求項46】 前記第1領域が概ね $3.0\text{ m}\Omega\text{-cm}$ の抵抗率を有することを特徴とする請求項45に記載のMOSFET。

【請求項47】 前記第2領域が $5\times 10^{14}\sim 5\times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ のドーパント濃度を有することを特徴とする請求項45に記載のMOSFET。

【請求項48】 前記第2領域が概ね $6\times 10^{15}\text{ cm}^{-3}$ のドーパント濃度を有することを特徴とする請求項47に記載のMOSFET。

【請求項49】 前記第2領域が概ね $0.8\Omega\text{-cm}$ の抵抗率を有することを特徴とする請求項47に記載のMOSFET。

【請求項50】 前記第3領域が $3\times 10^{14}\sim 3\times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ のドーパント濃度を有することを特徴とする請求項45に記載のMOSFET。

【請求項51】 前記第3領域が概ね $3\times 10^{15}\text{ cm}^{-3}$ のドーパント濃度を有することを特徴とする請求項50に記載のMOSFET。

【請求項52】 前記第3領域が概ね $1.5\Omega\text{-cm}$ の抵抗率を有することを特徴とする請求項50に記載のMOSFET。

【請求項53】 前記ソース領域と前記ドレイン領域との間に電位差が存在し、前記MOSFETがターンオフ状態にある場合に電界が最大値に達する前記トレンチの境界部分の1点に接触するように、前記第3領域が設けられることを特徴とする請求項45に記載のMOSFET。

【請求項54】 前記トレンチによってその少なくとも2つの側を囲まれたセルを有することを特徴とし、前記ドレイン領域が、前記セルの中心を横切り、かつ前記第3領域によって少なくともその一部が囲まれた第4領域を更に有することを特徴とし、

前記第4領域が前記第2領域及び前記第3領域よりも低い抵抗率を有することを特徴とする請求項45に記載のMOSFET。

【請求項55】 前記第4領域が、概ね $3\times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ のドーパント濃度を有することを特徴とする請求項54に記載のMOSFET。

【請求項56】 前記第4領域の横方向の境界部分が、前記トレンチの側壁から隔てられていることを特徴とする請求項54に記載のMOSFET。

10 【請求項57】 前記第4領域が、前記トレンチの側壁に至るまで横向きに延在することを特徴とする請求項54に記載のMOSFET。

【請求項58】 前記第4領域の上側境界部分が、前記ボディ領域の下側境界部分と接触するように設けられることを特徴とする請求項54に記載のMOSFET。

【請求項59】 前記第4領域の下側境界部分が、前記第2領域の上側境界部分に接触するように設けられることを特徴とする請求項54に記載のMOSFET。

20 【請求項60】 前記第4領域の下側境界部分が前記第2領域の上側境界部分から隔てられるように設けられることを特徴とする請求項54に記載のMOSFET。

【請求項61】 前記ボディ領域が、第2の濃いドーブをなされた領域を有することを特徴とする請求項54に記載のMOSFET。

【請求項62】 前記第2の濃いドーブをなされた領域が、前記第4領域の上側境界部分に接触するように設けられることを特徴とする請求項61に記載のMOSFET。

30 【請求項63】 前記第2の濃いドーブをなされた領域が、前記第4領域の上側境界部分から隔てられるように設けられることを特徴とする請求項61に記載のMOSFET。

【請求項64】 前記高い抵抗率の領域が、前記ボディ領域とPN接合を形成し、前記PN接合の少なくとも一部が、前記半導体材料の上側表面と平行な方向に向けられることを特徴とする請求項1に記載のMOSFET。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、トレンチの中に形成されたゲートを有する電流スイッチングMOSFETに関し、特に、ターンオン時の抵抗率が低いトレンチ型MOSFETに関する。さらに、1994年12月30日出願の米国特許出願第08/367,127号にも本発明に関連する技術が開示されており、同出願の明細書を参照されたい。

【0002】

50 【従来の技術】パワーMOSFETは自動車の電子技術、ディスクドライブ、及びパワーサプライ等の様々な



応用分野に於て広く使用されている。一般に、これらのデバイスはスイッチとして機能し、電源を負荷に接続するために用いられる。スイッチがオン状態にあるときには、デバイスの抵抗はできる限り低く抑えることが重要である。抵抗が高いと、電力が無駄に消費され、かつ過剰な熱が生成されることになる。

【0003】現在使用されているパワーMOSFETの普通のタイプのものは図1に断面が示されているような、プレナー型のDMOSデバイスである。電流はソース領域12からP-ボディ領域14の内部に形成されたチャンネル領域を通してN-エピタキシャル層16に流れる。チャンネル領域に於ける電流はゲート18によって制御される。電流はチャンネル領域を流れた後、N-エピタキシャル層16を通して基板20に流れるが、この基板20はデバイスのドレインを形成する。寄生の接合型電界効果トランジスタ(JFET)は、N-エピタキシャル層16の介入領域の一方の側にP-ボディ領域14が存在することによって形成される。P-ボディ領域14とN-エピタキシャル層16との接合部近傍の空乏層22は電流経路を押しつぶして電流を妨げ、これによってこの領域に於ける抵抗値を上昇させる。電流がN-エピタキシャル層16を通して下方向に進行するにつれ、電流経路は横に広がって抵抗は低減する。

【0004】パーティカル電流デバイスの別の形態に於ては、ゲートは「トレンチ」の中に形成される。このようなデバイスはMOSFETの1つのセル100の断面図である図2、及びそのセルの底面図である図3に於て示されている。ゲート102及び104はトレンチの中に形成され、ゲート酸化層106及び108によってそれぞれ外囲されている。トレンチゲートは(図3にその一部が示されているように)、正多角形のアレイのような格子パターンの中に形成されていることが多く、この各格子は1つの相互接続ゲートとなる(ゲート102及び104も同様である)。トレンチゲートは、一連の平行なストライプ形状として形成されることもある。

【0005】MOSFET100は、N-エピタキシャル層110に形成された二重拡散デバイスである。N+ソース領域にはエピタキシャル層110の表面に形成され、これはP+コンタクト領域114も同様である。P-ボディ領域116はN+ソース領域112及びP+コンタクト領域114の下に配置される。金属ソースコンタクト118はソース領域112と接触し、かつソース領域112をP+コンタクト領域114及びP-ボディ領域116にショートする。

【0006】N-エピタキシャル層110は基板120上に形成され、ドレインコンタクト(図示せず)は基板120の底部に配置される。ゲート102及び104に対するコンタクト部分も同様に図示されていないが、これは一般的にはトレンチの外部の導電性ゲート材料を延ばし、各セルから離れた位置に金属のコンタクト部分を

形成することによって形成される。ゲートは燐若しくはホウ素でドーブされたポリシリコン製であるのが一般的である。

【0007】N-エピタキシャル層110の基板120とP-ボディ116との間の領域111は、一般に基板120よりも薄くN型不純物のドーブを成される。これによってMOSFET100の高電圧に対する耐性が増加する。領域111は「薄いドーブをなされた領域」若しくは「ドリフト領域」とよばれることもある。(ドリフトとは電界に於けるキャリアの移動を指す。)ドリフト領域111及び基板120はMOSFET100のドレインを構成する。

【0008】MOSFETはN-チャンネルMOSFETである。正の電圧がゲート102に印加されると、ゲート酸化層106に隣接するP-ボディ領域116の内部のチャンネル領域が反転し、ソース領域112と基板120との間に電位差がある場合には、電子がソース領域がチャンネル領域を通過してドリフト領域111に流れる。ドリフト領域111に於ては、一定の角度で対角方向に広がって流れる電子があり、この電子は基板120に衝突した後、更に垂直方向にドレインに向かって流れる。他の電流はドリフト領域111を通してまっすぐに流れ、電流の一部はゲート102の下側を流れて、ドリフト領域111を通して下向きに流れる。

【0009】ゲート102は導電性材料でドーブされる。MOSFET100はN-チャンネルMOSFETなので、ゲート102には燐でドーブされたポリシリコンが用いられ得る。ゲート102は、ゲート酸化層106によってMOSFET100の他の部分から絶縁される。ゲート酸化層106の厚みはMOSFET100の閾値電圧を設定するべく選択され、また、これはMOSFET100のブレイクダウン電圧にも影響を与える。MOSFET100のようなパワーMOSFETのブレイクダウン電圧は200Vよりも低く、60V前後であることが一般的である。

【0010】トレンチ型のMOSFETを魅力的なものにしている特徴のひとつは、上記のように電流がMOSFETのチャンネルを通して垂直に流れる点である。これによって、図1に示すプレナーDMOSデバイスのような、電流がチャンネルを水平に流れドレインを通して垂直に流れるMOSFETよりも、高いパッキング密度が得られる。セル密度がより高いものになることは、基板の単位面積当たりのデバイス数が増えることを一般には意味し、またMOSFETは平行に接続されるので、デバイスのオン抵抗が低下することにもなる。

【0011】図2に示すMOSFET100に於ては、P+コンタクト領域114が非常に浅い形状となっており、P-ボディ領域116の下側接合部まで延びていない。これによって、P-型ドーパントがチャンネル領域まで届かないようになり、デバイスの閾値電圧を高め、デ

バイスのターンオン特性を、動作毎にP+コンタクト領域114のアライメントに応じて変化させることができることになる。しかし、P+領域114を浅くすると、デバイスはターンオフ時に比較的に低い電圧（例えば10V）にしか耐えられなくなる。これは、P-ボディ領域116とドリフト領域111の接合部の周りに広がる空乏層がトレンチのコーナー部分を（例えば図2に示すコーナー122）十分にプロテクトしないからである。この結果、トレンチの近傍に於てなだれ降服が発生しゲート酸化層106を損ない得るキャリアの発生率が高くなり、最悪の場合には、ゲート酸化層106が破壊されることにもなる。従って、図3に示すMOSFETが低電圧デバイスとしては最良のものであるといえる。

【0012】図4に示すのは、更に変形を加えたMOSFET100であり、ここではP+ボディコンタクト領域114がP-ボディ領域116の下側接合部のすぐ上まで延びている。この領域に於けるPイオン濃度を高めることによって、空乏領域の大きさが増加し、これによって、トレンチのコーナー部分122の回りに追加的なシールドが与えられることになる。しかし、デバイスがブレイクダウン状態にされる場合に於ては、ゲート酸化層106の近傍に於てキャリアが発生し易くなり、ゲート酸化層が損なわれることになりうる。

【0013】図5～図7に示すような構成に於ては、ブレイクダウンに関する特性が著しく改善される。このような構成は、Bulucea等に付与された米国特許第5,072,266号明細書に記載されている。MOSFET300に於ては、P+領域114がトレンチの底部より更に低いところまで伸び、セルの中央部に深く、濃いドーピングをなされたP領域を形成する。これによってコーナー部分122に於て追加的なシールドがなされる一方、キャリアの発生は、P+領域114の下側端部302に比較的集中するようになるという利点が生ずる。これは、端部302の下側で電界が強められ、これによってゲート酸化層106に隣接した場所でなく、前記の場所若しくは接合部の湾曲に沿った部分に於てキャリアが発生するためである。ゲート酸化層106に掛かる負担が低減し、高電圧下で使用した場合のMOSFET300の信頼性が改善される。これは、たとえデバイスの接合部に於ける実際のブレイクダウン電圧が低減してしまう場合であってもいえることである。

【0014】図6に示すのは、図5に示すセルの左半分の断面図であって、隣接するセルの一部も示されている。図7に示すのは同等のP-チャンネルデバイスである。図6は、ゲート102と104との接続をなすためにゲート金属領域121がどのように用いられているかを示したものである。

【0015】MOSFET300に於ける深い中央P+領域114は、有害な影響を著しく低減させる一方で、好ましくない影響も与える。第1に、セル密度を上げる

とホウ素イオンがチャンネル領域に導入されてしまうため、セル密度の上昇に制限を加える点である。上記のように、これによってMOSFETの閾値電圧が高くなる傾向がある。第2に、P+領域114が存在することによって、電子の流れがチャンネルから流れてドリフト領域111にはいるときに電子の流れに対するピンチ抵抗が生じる傾向がある点である。（例えば図2に示すような）深いP+領域を含まない実施例に於いては、電流経路はドリフト領域111に達したとき拡がる。このように電流が広がって流れることによって、Nエピタキシャル層110に於ける単位面積当たりの平均電流が低下し、MOSFETのオン抵抗も減ることになる。従って、深い中央P+領域が存在すると電流経路の拡がりが制限され、オン抵抗が高くなる。

#### 【0016】

【発明が解決しようとする課題】従って、本発明の目的は、深いP+領域による改善されたブレイクダウンに関する特性と、低いオン抵抗とを兼ね備えたバーチカルトレンチ型MOSFETを提供することである。

#### 【0017】

【課題を解決するための手段】本発明のトレンチ型MOSFETは、トレンチの中に形成されたゲートと、第1導電型のソース領域と、前記ソース領域の下に配置された第2導電型のボディ領域と、前記ボディ領域の下に配置された導電型のドレイン領域と、前記ドレイン領域の外部の「薄いドーピングをなされた」領域若しくは「ドリフト」領域とを有し、前記ドリフト領域のドーパント濃度は前記ドレイン領域のドーパント濃度より一般的に低い。ドレイン領域は基板を有し、または「準バーチカル型」の実施例に於いては、ドレイン領域は、例えば「シンカー」領域を介して半導体材料の上側表面と接続される第1導電型の埋込層を有する。ドレイン領域はエピタキシャル層若しくは基板の中に形成される。

【0018】MOSFETがターンオン状態の時、電流はトレンチに隣接するボディ領域内部のチャンネルを通して垂直方向に流れる。

【0019】本発明によればドリフト領域は抵抗率の異なる複数の領域を有する。比較的高い抵抗率の領域はトレンチの下側に隣接して設けられたドリフト領域の中に形成される。高い抵抗率の領域は第1導電型のイオンでドーピングされるが、この時のドーパント濃度は、ドリフト領域の他の部分の第1導電型のイオンの濃度よりも低い濃度である。本発明のMOSFETには様々な配置の実施例が存在する。例えば、高い抵抗率の領域が実質的に均一のドーパント濃度（及び抵抗率）を有するもの、若しくはドーパント濃度が高い抵抗率の領域に於て変化する（例えば直線的にまたは他の関数に従って）ものがあり得る。高い抵抗率の領域は、MOSFETがソース・ドレイン間に電圧が印加されているときに電界が最大に達するトレンチの境界部分（例えばコーナー部分）上の

点を、取り囲む形とするべきである。

【0020】好適な実施例に於いては、ドリフト領域は「デルタ」層も有する。このデルタ層は高い抵抗率の領域に於ける第1導電型イオン濃度よりも高い第1導電型のイオン濃度でドーブをなされるため、高い抵抗率の領域よりも低い抵抗率を有する。デルタ層はMOSFETセルの中央部分でトレンチから離れた位置に設けられるのが一般的であり、これはデルタ領域がトレンチに至るまで、若しくはトレンチよりも下の位置まで延びているような実施例に於いても同様である。デルタ層は、それを取り囲むドレイン領域の抵抗率よりも高い抵抗率を有する。

【0021】トレンチに隣接する高い抵抗率の領域は、トレンチの境界部分、特に角張ったコーナー部分に沿った電界強度を制限し、これによってゲート酸化層の近傍で電圧のブレイクダウンが生ずるのを防ぐ効果を与える。「デルタ」層は、電圧のブレイクダウンの発生を、ゲート酸化層の表面でなく、MOSFETセルの中心部分の近傍に集中するようにさせる役割を果たしているのである。即ち、デルタ層によって電流経路の広がり改善され、MOSFETのオン抵抗が低減されるのである。

【0022】このような技術によって、上記の第2導電型の深い中心部分の領域に於ける場合のように、セル密度の上昇を制限することなく、トレンチに於ける電界を低減することができる。更に、電流経路はトレンチの領域に於て密でないので、本発明のMOSFETのオン抵抗は中央部の深い拡散部分を有する実施例と比較して改善される。

【0023】これとは別に、セル密度があまり重要でない場合には、第2導電型の領域はMOSFETセルの中央部に形成され、トレンチのエッジ部分に於ける電界強度を制御するのを助ける形となる。第2導電型の中央部分の領域は全体で用いられることもあれば、デルタ層と共に用いられる場合もある。

【0024】ここで用いられた、「～より低い」、「～より高い位置の」、若しくは「横向きの」等の物理的な方向若しくは関係を特定する言葉は、トレンチがデバイスの上側表面に設けられた形となる図5、図7、及び図9のように示されたMOSFETを説明するために用いられている。これらの表現は、図面上での表示に関するものであって、実際のMOSFETの方向には関係がないということを理解されたい。

#### 【0025】

【発明の実施の形態】本発明に基づくMOSFETの断面図が図9に示されている。MOSFET40は、N+ソース領域41、P-ボディ領域42、及びNドレイン領域43を含む。ゲート44はトレンチ48の中に形成され、酸化層45によってデバイスのアクティブ領域から絶縁されている。P+コンタクト領域46はソース領

域41に隣接して形成され、領域41及び46は金属コンタクト46Mによってショートされている。

【0026】Nドレイン領域43は、この実施例においては4つの異なる領域を有する。それは基板43S、「ドリフト」領域43D、トレンチ48の一部に隣接して設けられた高い抵抗率の領域43HR、及び中央「デルタ」層43LRであって、中央デルタ層43LRは領域43HRと比較して低い抵抗率を有する。

【0027】ここで用いられている「デルタ層」という言葉は、トレンチ型バーチカルMOSFETにおけるボディ領域の下層をなす層を意味しており、そのドーパント濃度はデルタ層のすぐ下の領域のドーパント濃度よりも高い。デルタ層の境界部分は、ドーパント濃度の低下が止まった位置（例えば、ドーパント濃度が一定になるか若しくは上昇し始める位置）、若しくはデルタ層がボディ領域と接触する位置にある。（デルタ層の形成に用いられるドーパントの中にはボディ領域まで浸透するものもあるが、このときボディ領域を形成するのに用いられるドーパントは重複した領域におけるデルタ層ドーパントを補償し逆ドーブする。）デルタ層の下側境界面の位置は、トレンチの底部の上側若しくは下側にあり、セルの中央部における逆の導電型の領域の底部よりも高いか若しくは低い高さである。デルタ層の上側境界面は、ボディ領域の下側接合部と一致するか、若しくはボディ領域の下側接合部よりも下の位置となる。

【0028】ドリフト領域43D及び全てのの上層をなす半導体層はエピタキシャル層47の中に形成され、エピタキシャル層47は基板43Sの上側表面上に形成される。トレンチ48もエピタキシャル層47の中に形成される。

【0029】他の実施例においては、ドリフト領域は基板の中に形成される。更に、トレンチ48が矩形の断面を有するが、トレンチの断面の形状はU型若しくはV型若しくは他の形状でもよい。

【0030】図9にはMOSFET40のセルの半分の断面が示されている。従って、図の左側の端部は概ねゲート44の中央部となり、5C-5Cに沿った断面はセルの中央部となる。ゲート44は直線的な、六方晶形の、若しくは他の型の格子パターンに形成され（図6及び図7参照）、この場合「セル」はゲート44の一部分によって周り全部を囲まれた領域を含むことになる。別の実施例では、ゲート44は平行な「ストライプ」形状に形成される。

【0031】MOSFET40の構造は、図10、図11及び図12を参照することによってより良く理解されよう。これらの図には3つの垂直な断面におけるN-若しくはP-型ドーパントの濃度が示されている。

【0032】図10に示すのは、図9の5A-5Aに沿った、ゲート44の中央部を通る断面に於けるドーパント濃度である。エピタキシャル層44の上側表面から下

向きの距離 ( $\mu\text{m}$  単位) を横軸に、ドーパント濃度 ( $\text{cm}^{-3}$  単位) の10を底とする対数を縦軸にとっている。基板43SはN-型ドーパントでドーパされ、抵抗率が概ね  $3.0\text{m}\Omega\text{-cm}$  となるようにされる。N-型ドーパントの濃度は、ドリフト領域43Dに於いては、 $5 \times 10^{14} \sim 5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$  (例えば  $6 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ ) に、高抵抗率領域43HRに於いては、 $3 \times 10^{14} \sim 3 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$  (例えば  $3 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ ) に低下する。ドリフト領域43D及び高抵抗率領域43HRに於けるドーパント濃度がそれぞれ  $6 \times 10^{15}$ 、 $3 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$  であることによって、N-チャンネルのための抵抗率がそれぞれ  $0.8\text{m}\Omega\text{-cm}$ 、 $1.5\text{m}\Omega\text{-cm}$  となる。高抵抗率領域43HRのドーパント濃度は、デルタ層43LRのそれよりも低いものであるべきである。

【0033】ゲート44は濃度  $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$  のリンオンでドーパされ、典型的には面抵抗  $20\Omega/\text{面積}$  となるようにされる。(P-チャンネルデバイスに於いては、ゲートはホウ素でドーパされる。) トレンチ48の底部は、上側表面より概ね  $1.6\mu\text{m}$  (または  $1 \sim 3\mu\text{m}$  の範囲) の深さであり、領域43HRとドリフト領域43Dの境界は、上側表面より概ね  $2.6\mu\text{m}$  (または  $2 \sim 5\mu\text{m}$  の範囲) の深さにある。エピタキシャル層47は、概ね  $5.0\mu\text{m}$  の厚みを有する。

【0034】図11に示すのは、図9の5B-5Bに沿った、MOSFET40の断面のドーパント濃度である。基板43S及びドリフト領域43Dにおけるドーパント濃度レベルは図10に示したものと同一である。同様に、領域43HRにおけるN-型ドーパント濃度も  $3 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$  のままであるが、領域43HRは上側表面から  $1.2\mu\text{m}$  以内の領域まで、もしくはトレンチの底部よりも高い位置まで延在している。P-ボディ42におけるドーパント濃度は、領域43HRとの接合部における  $6 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$  から、ソース領域41との接合部における約  $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  まで高められている。ソース領域41におけるN-型ドーパント濃度は、その接合部分における約  $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  から、構造の上側表面における  $2 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$  まで上昇している。図10及び図11から、高抵抗率の領域43HRはトレンチ48の底部及び側部の周りに延在し、一般に電界が最大となるトレンチ48のコーナー部分を含む形となっているのは明らかである。

【0035】図12に示すのは、図9の5C-5Cに沿ったMOSFET40の断面のドーパント濃度であって、この断面はセルの中央部である。また、基板43S及びドリフト領域43Dのドーパント濃度は同じレベルに保たれている。P+コンタクト領域46はデバイスの上側表面の部分で最大値である約  $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$  に達するドーパント濃度を有する。P+領域46のすぐ下は、P-ボディ領域42の一部分であって、この領域42は  $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$  前後のドーパント濃度を有する。

セルの中央部におけるP-ボディ領域42のすぐ下には、デルタ層43LRがあり、これは図9の実線で示されるように、ドリフト領域43Dの普通の部分まで延在する場合もある。これとは別に領域43HRの一部分はデルタ層43LRをセルの中央部におけるドリフト領域43Dの普通の部分から隔てている。このことは図9において破線で示されており、また、別の実施例に於けるドーパント濃度は図12において破線で示されている。

【0036】デルタ層43LRは、そこでブレイクダウンが発生した場合にゲート酸化領域45を損ない、または破壊する可能性のあるトレンチに隣接した位置でブレイクダウンを発生させるのではなく、セルの中央部の領域においてブレイクダウンが発生するようにするのを確実にするために設けられるものである。更に、デルタ層43LRは低抵抗率の領域であって、領域43HRの高い抵抗率をある程度補償するものである。従って、領域43HRとデルタ層43LRとの組み合わせによって、トレンチを取り囲む比較的高い抵抗率の領域とセル中央部の比較的低い抵抗率の領域とが形成される。

【0037】図13～図22は本発明に基づきMOSFETの製造プロセスを示したものである。

【0038】図13に示すように、プロセスは基板150から開始されるが、この基板150は  $500\mu\text{m}$  の厚みを有し、抵抗率は  $3\text{m}\Omega\text{-cm}$  である。第1のN-エピタキシャル層151及び第2のN-エピタキシャル層152が続いて基板150の上側表面上に成長させられる。第1のN-エピタキシャル層151は、例えば  $6 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$  の濃度でドーパされ、第2のN-エピタキシャル層152は、例えば  $3 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$  の濃度でドーパされる。好ましくは、基板150はエピタキシャル層151及び152の成長過程においてエピ・リアクタ (epi reactor) から除去されないようにしておく。

【0039】別の実施例においては、2つの異なる均一なドーパント濃度を有するエピタキシャル層を成長させるのではなく、エピタキシャル層の少なくとも一部分が成長させられている間にN-型ドーパント濃度を徐々にかつ単調に低減させて、高い抵抗率の領域を形成する。ドーパント濃度は、例えば、基板の濃度から、約  $3 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$  である表面近傍 (例えば約  $3\mu\text{m}$  の深さ) の濃度まで徐々に低減させることができる。このようなドーパント濃度の低減は、線形のもしくは他の関数に基づいて実施され得る。

【0040】次に、 $900^\circ\text{C} \sim 1100^\circ\text{C}$  の酸素流の中のような酸化雰囲気において構造を加熱することによって、フィールド酸化層153がN-エピタキシャル層152の上側表面上に成長させられる。

【0041】図14に示すように、フィールド酸化層153はパターニングされ、デバイスのアクティブ領域からエッチングされる。フィールド酸化層153上の、チップの外側エッジ部分における高電圧終端部、及びボリ

シリコンゲートのバスの接続に使用するための領域が残される。

【0042】図15に示すように、酸化層154は、汚染を防止するべく400Åの厚みに成長させられ、次にトレンチ領域がフォトレジストによってパターンニングされる。次に、トレンチがエッチングされて適当な深さを有するようにされ、トレンチの底部の下第2のN-エピタキシャル層152の厚みが所望の厚みとなるようにされる。

【0043】図16に示すように、続いて、酸化層154及びフォトレジストが除去される。次に、ゲート酸化層155がトレンチの上側表面も含む構造の上側表面上に成長させられる。ゲート酸化層155はTCA（トリクロロエチレン）のような塩化物を含んだ乾燥した酸素の中で成長させられる。ゲート酸化層の厚みは30～2000Åの範囲とされる。

【0044】図17に示すように、ポリシリコンゲート156は被覆されて、トレンチが埋められる。このプロセスは好ましくは、化学気相成長プロセスを用いて行われる。次にポリシリコンゲート156はエッチングされて、平坦な表面に戻される。チップはマスクされ、ポリシリコンゲート156は、トレンチから露出されておりゲートコンタクトを形成している領域を保護する。ポリシリコンゲート156は燐でドーピングされ、面抵抗が20Ω/面積となるようにされる。このドーピングはエッチバックの前後に行われる。1つの方法によれば、トレンチがエッチングされる前に、ポリシリコンゲート156をPOCl<sub>3</sub>で「プリドーピング (predepping)」することによってドーピングがなされる。別の実施例においては、ゲートが、その形成過程においてin situでドーピングされる。

【0045】図18に示すように、P-ボディ157は、37～150KeVのエネルギーで $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ の硼素イオンを、ブランケット注入によりゲート酸化層155を通して注入される。次に、P-ボディ157は窒素雰囲気の中で1～6時間900～1100℃で加熱することによって1.2μmにされる。これとは別に、マスクを用いてP-ボディ注入をデバイスのアクティブ領域に制限することもできる。

【0046】図19に示すように、酸化層155の上側表面はマスクされて、ソース領域158は40～80KeVのエネルギーで $4 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ の注入をなされる。ソース領域158は15～60分間900～1100℃で加熱される。次に、ホウ素燐珪酸ガラス(BPSG)層159が構造の上側表面上に3000～10000Åの厚みで被着される。

【0047】図20に示すように、BPSG層159及び下層をなす酸化層はフォトレジストを用いてパターンニングされ、エッチングされてコンタクトマスクを形成する。次に、Nデルタ層160にコンタクトマスクを通し

て注入がなされる。Nデルタ層160は60～150KeVのエネルギーで $1 \times 10^{12} \sim 5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ の燐イオンを注入される。

【0048】図21に示すように、P+コンタクト領域161に同じマスクを通しての注入が行われるが、これは20～80KeVエネルギーで $8 \times 10^{14} \sim 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ のホウ素イオンを用いて行われる。次に、構造は15～30分間900～1100℃の熱処理を受ける。このプロセスによってNデルタ層160が活性化され、BPSG層159がフローされる。

【0049】図22に示すように、金属層162がスパッタリングによって1～4μmの厚みで被着される。金属層162は好ましくは2%の銅及び2%のシリコンを有するアルミニウムである。金属層162は、適当にエッチングされて、構造体はSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>もしくはBPSGの不活性化層（図示せず）で覆われることになる。

【0050】上記のプロセスにおいて、コンタクトマスクはNデルタ層160及びP+コンタクト領域161の注入に於けるマスクとして使用される。別の実施例では、Nデルタ層160及びP+コンタクト領域161はそれぞれ各領域のマスクを通して注入がなされる。また、注入の実施順序を変えることもできる。例えば、Nデルタ層160の注入は、P-ボディ157の注入（図18）の後で、かつソース領域158の注入の直ぐ前に行うようにすることもできる。

【0051】デルタ層の注入はP-ボディ領域の注入及び拡散の前に行われる。これが完了すると、デルタ層は、ボディドライブイン拡散の間に拡散し、下側境界面の深さが深まり、横幅が広がる。デルタ層が横向きにトレンチに至るまで延在しない場合は、処理に際してその寸法がそれなりに小さくなるように考慮しなければならない。

【0052】前述のように、デルタ層はP-ボディの形成に前後して、もしくはソース領域の形成に前後して導入される。デルタ層、P-ボディ及びソースの形成順序に関わりなく、トレンチエッチング及びゲートの形成はすべての注入処理が終了した後に行われる。例えば、P-ボディ、ソース、浅いP+及びデルタ層がトレンチエッチングの前に形成され、その後トレンチ、ゲート酸化及びゲートが形成され得る。別の実施例では、トレンチのエッチングがソース拡散の後で、かつデルタ層注入の前に行われる。これらのプロセスステップの順序を変えることによってMOSFETの基本的な構造は変わらないが、様々な部分の位置合わせミスが累積する危険性が増し、セル密度が制限されることになる。

【0053】注入によってデルタ層を形成する代わりに、デルタ層を、エピタキシャル層が成長するのと同時に、高濃度のドーパントで比較的短時間の注入を行うことによって（例えばドーパントの「短いパルス」を与えることによって）形成してもよい。

【0054】図23に示すのは、横軸を基板とエピタキシャル層との境界面からの距離、縦軸をエピタキシャル層の成長時におけるドーパント濃度として示した、あり得べき状態である。実線は図13に示す実施例の「ステップ関数」の場合を表し、破線は上述のドーパント濃度を徐々に減らした場合を表している。斜線部は、エピタキシャル層の成長時にドーパント「パルス」を与えることによって形成されたデルタ層を表している。

【0055】デルタ層は、それが注入によって形成されたものであれ、エピタキシャル層の成長時に形成されたものであれ、ウェハ表面に横向きに延在しているが、ゲートトレンチが割り込んでいる部分には延在していない。このことは図26及び図27において、例えば、デルタ層184がチップ上の隣接するMOSFETセル間に延在している部分において示されている。

【0056】これとは別に、図4及び図5～図7に示すように、中央のP+領域は、デルタ層43LPによって置き換えられるか、もしくはデルタ層を含む形としても良い。他の実施例においては、デルタ層43LP及び中央のP+領域が省略される。図24に示すのは、デルタ層181及び比較的深い中央P+領域に接している高い抵抗率の領域180を含む実施例である。図25の実施例は、図24の実施例と概ね同様であるが、中央P+領域183が図24のものに比べて浅い点で異なっている。図26及び図27において、デルタ層184はトレンチの側壁に至るまで延在している。図26は深い中央P+領域182を有し、図27においてはより浅いP+領域183が含まれている。

【0057】本発明に基づき構成されたMOSFETの性能を検査するべく、いくつかのシミュレーションテストを2次元デバイスシミュレータMedici（登録商標）を使用して行った。はじめに分析したデバイスは、図5に示すようなセル幅 $9\mu\text{m}$ （例えばゲートの中央部からセルの中央部までの距離が $4.5\mu\text{m}$ ）のMOSFET300である従来の $60\text{V}$ デバイスである。ゲートソース電圧 $V_{GS}=10\text{V}$ 、ドレインソース電圧 $V_{DS}=0.1\text{V}$ とすると、単位チャネル幅あたりのドレイン電流 $I_{DS}$ は $2.0 \times 10^{-6}\text{A}/\mu\text{m}$ である。同じ $V_{GS}$ 及び $V_{DS}$ として、同様に $7\mu\text{m}$ セルMOSFETを分析すると、 $I_{DS}/W$ で示される、単位幅あたりのドレイン電流は $2.1 \times 10^{-6}\text{A}/\mu\text{m}$ である。（ここで $I_{DS}/W$ はゲートの表面と平行して測定された単位幅あたりの電流である。従ってセル幅 $Y_{\text{cell}}$ 及びゲート幅 $G$ を有する。四角いセルに対しては、セルを流れる全電流は $4I_{DS}/W(Y_{\text{cell}}-G)$ と等しくなる。） $7\mu\text{m}$ デバイスの増加したパッキング密度のために、 $7\mu\text{m}$ デバイスを流れる全電流はより大きくなり、特定のオン抵抗（例えばデバイスの単位面積あたりの抵抗）について概ね18%の改善がみられる。

【0058】テストされた $7\mu\text{m}$ 及び $9\mu\text{m}$ セル幅デバ

イスは深い中央P+領域（図5参照）を有していた。この構造はP+領域がトレンチのエッジに接触してしまうために $5\mu\text{m}$ セルデバイスでは不可能である。上述のように、このことによって不適格な高い閾値電圧が生じ、オン抵抗の著しく高い、ひどく「狭い」ドリフト領域ができることになる。

【0059】このために、本発明に基づく、図9に示した構造の $5\mu\text{m}$ セルデバイスがテストされた。 $V_{GS}=10\text{V}$ 、 $V_{DS}=0.1\text{V}$ とすると、ドレイン電流 $I_{DS}/W$ は $1.8 \times 10^{-6}\text{A}/\mu\text{m}$ に等しくなる。また、 $5\mu\text{m}$ セルデバイスのパッキング密度が高くなるために、この電流は $7\mu\text{m}$ セルデバイスの場合と較べて単位面積あたりのオン抵抗が20%減少し、これは、 $9\mu\text{m}$ セルデバイスと比較してオン抵抗が40%減少したことに相当する。

【0060】図28に示すのは、本発明に基づく $5\mu\text{m}$ セルデバイスにおける電流の分布である。P-ボディ領域42及びゲート44の位置が図28に示されている。図29に示すのは、分析された $9\mu\text{m}$ セルデバイスにおける電流分布である。図28及び図29における電流経路を示す線の間の空間は、そこに全電流に対する同程度のパーセンテージの電流が分布していることを表している。図28及び図29を比較すると、本発明に基づいて製造されたMOSFETが、より均一な電流分布を有していることが分かる。均一な電流分布のデバイスのオン抵抗は減る傾向がある。

【0061】 $5\mu\text{m}$ セルデバイスのブレイクダウン電圧を分析して、 $9\mu\text{m}$ セルデバイスのブレイクダウン電圧と比較した。ここで再び、二次元デバイスシミュレータMedici（登録商標）が用いられる。図30及び図31に示すのは $V_{DS}=60\text{V}$ でオフ状態にされた $9\mu\text{m}$ セルデバイスの等ポテンシャル線及び電界分布（electric field contours）である。図31を参照すると、トレンチの底部の中央（点A）及びトレンチのコーナー（点B）における電界はそれぞれ $26\text{V}/\mu\text{m}$ 及び $36.2\text{V}/\mu\text{m}$ である。

【0062】 $5\mu\text{m}$ セルデバイスに対する等ポテンシャル線及び電界分布は図32及び図33にそれぞれ示されている。点A及び点Bにおける電界がそれぞれ $29.1\text{V}/\mu\text{m}$ 、 $35.8\text{V}/\mu\text{m}$ であることは重要である。 $9\mu\text{m}$ セルデバイスの対応する値を比較すると、 $5\mu\text{m}$ セルデバイスのブレイクダウン電圧は概ね等しいことが分かる。

【0063】図34及び図35に示すのは、それぞれ $9\mu\text{m}$ セルデバイス及び $5\mu\text{m}$ セルデバイスのイオン化率である。図34に示す $9\mu\text{m}$ セルデバイスのイオン化率から、深い中央P+領域とドリフト領域との接合部におけるイオン化率の積分値0.78が求められる。図35に示すデータによって $5\mu\text{m}$ セルデバイスのP-ボディ領域とドリフト領域との接合部におけるイオン化率の積



分値0.73が求められる。ここで、これらのデータは、これらの2つのMOSFETのブレイクダウン電圧が近いものであることを意味している。

【0064】従って、図30、図31、図32、図33、図34、及び図35に示すデータが示すのは、本発明に基づいて製造された5 $\mu$ mセルデバイスが従来の9 $\mu$ mセルデバイスのブレイクダウン特性とほぼ同様の特性を有し、従って上記の改善されたオン抵抗はブレイクダウン電圧を低下させるという犠牲の下に達成されたものではないということである。

【0065】上記の実施例は、一般的にドレイン及びドレインコンタクト領域を形成する基板がチップの底面に配置されるバーチカルトレンチMOSFETの実施例である。本発明の原理は、ドレインコンタクト領域がチップの上側表面上に形成される、いわゆる「準バーチカル(quasi-vertical)」MOSFETにも適用可能である。図36に示すのは図25に示すMOSFETに似た準バーチカルMOSFETであって、これはドリフト領域312、高い抵抗率の領域314及びデルタ層316を有する。しかしながら、ドレインは埋込層318によって形成され、この埋込層はP基板320とドリフト領域312との境界面に配置される。チップ上側表面上のドレインコンタクト306はシンカー304によって埋込層318と結びつけられている。

【0066】上記の実施例はN-チャネルMOSFETに関するものであるが、本発明の原理がP-チャネルMOSFETにも適用可能であることは明らかであろう。

【0067】上述した特定の実施例は本発明の考え方を説明するためのものであり、本発明が上述の実施例に限られるものではない。

#### 【0068】

【発明の効果】以上より、本発明に基づき、ブレイクダウン電圧を高く維持したまま、電流分布の拡大によってオン抵抗を低く改善したバーチカルトレンチ型MOSFETが提供される。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】従来のプレナー型の二重拡散MOSFETの断面図である。

【図2】比較的浅いP+コンタクト領域を有する典型的なバーチカルトレンチ型N-チャネルMOSFETのセルの断面図である。

【図3】比較的浅いP+コンタクト領域を有する典型的なバーチカルトレンチ型N-チャネルMOSFETのセルの平面図である。

【図4】図3と同様のN-チャネルMOSFETの断面図であって、P+コンタクト領域がPボディ領域の下側エッジ部分よりも下まで延びているものが示されている。

【図5】図3と同様のN-チャネルMOSFETの断面図であって、中央P+コンタクト領域がトレンチの底部

の下側の位置まで延びているものが示されている。

【図6】図5に示すN-チャネルMOSFETの断面斜視図である。

【図7】図6と同形のP-チャネルMOSFETの断面斜視図である。

【図8】ゲート金属コンタクト部分がデバイスの上側表面に形成されているのを示す断面図である。

【図9】本発明に基づくMOSFETの断面図である。

【図10】図9に示すMOSFETのゲートに沿った断面のドーパント濃度を示したグラフである。

【図11】図9に示すMOSFETのチャネルの近傍に於ける断面のドーパント濃度を示したグラフである。

【図12】図9に示すMOSFETのセルの中央部に於ける断面のドーパント濃度を示したグラフである。

【図13】図13～図22に於いて順に示された本発明に基づくMOSFETの製造プロセスの中の、1つの段階を示したものである。

【図14】図13～図22に於いて順に示された本発明に基づくMOSFETの製造プロセスの中の、1つの段階を示したものである。

【図15】図13～図22に於いて順に示された本発明に基づくMOSFETの製造プロセスの中の、1つの段階を示したものである。

【図16】図13～図22に於いて順に示された本発明に基づくMOSFETの製造プロセスの中の、1つの段階を示したものである。

【図17】図13～図22に於いて順に示された本発明に基づくMOSFETの製造プロセスの中の、1つの段階を示したものである。

【図18】図13～図22に於いて順に示された本発明に基づくMOSFETの製造プロセスの中の、1つの段階を示したものである。

【図19】図13～図22に於いて順に示された本発明に基づくMOSFETの製造プロセスの中の、1つの段階を示したものである。

【図20】図13～図22に於いて順に示された本発明に基づくMOSFETの製造プロセスの中の、1つの段階を示したものである。

【図21】図13～図22に於いて順に示された本発明に基づくMOSFETの製造プロセスの中の、1つの段階を示したものである。

【図22】図13～図22に於いて順に示された本発明に基づくMOSFETの製造プロセスの中の、1つの段階を示したものである。

【図23】本発明の様々な実施例に於けるドリフト領域のドーパント濃度のグラフである。

【図24】中央P+領域と共にデルタ層を有するMOSFETの断面図である。

【図25】中央P+領域と共にデルタ層を有するMOSFETの断面図である。

【図26】トレンチの側壁に延びるデルタ層を有するMOSFETの断面図である。

【図27】トレンチの側壁に延びるデルタ層を有するMOSFETの断面図である。

【図28】本発明に基づく5 $\mu$ mセルMOSFETに於ける電流分布を示したものである。

【図29】従来の9 $\mu$ mセルMOSFETの電流分布を示したものである。

【図30】9 $\mu$ mセルMOSFETに於ける等ポテンシャル線を示したものである。

【図31】9 $\mu$ mセルMOSFETに於ける電界分布を示したものである。

【図32】本発明に基づく5 $\mu$ mセルMOSFETに於ける等ポテンシャル線を示したものである。

【図33】本発明の基づく5 $\mu$ mセルMOSFETに於ける電界分布を示したものである。

【図34】従来の9 $\mu$ mセルMOSFETのイオン化率を示したものである。

【図35】本発明に基づく5 $\mu$ mセルMOSFETのイオン化率を示したものである。

【図36】準バッチカルMOSFETの実施例の断面図である。

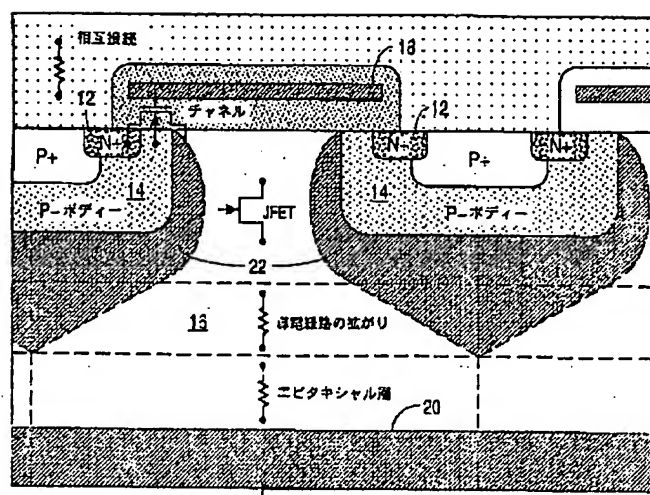
#### 【符号の説明】

12 ソース領域  
14 P-ボディ領域  
16 N-エピタキシャル層  
18 ゲート  
20 基板  
22 空乏層  
40 MOSFET  
41 N+ソース領域  
42 P-ボディ領域  
43 Nドレイン領域  
43D ドリフト領域  
43S N+基板  
43HR 高い抵抗率の領域  
43LR 中央デルタ層  
44 ゲート  
45 酸化層  
46 P+コンタクト領域  
46M 金属コンタクト  
47 エピタキシャル層  
48 トレンチ

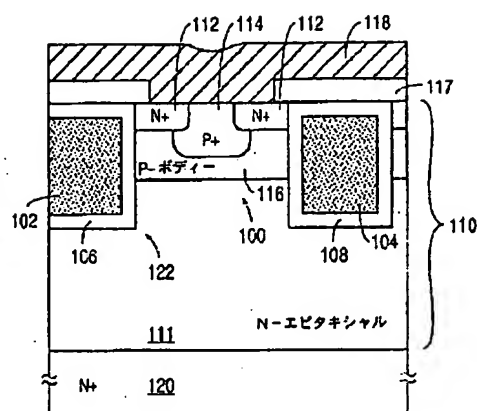
100 MOSFETセル  
102 ゲート  
104 ゲート  
106 ゲート酸化層  
108 ゲート酸化層  
110 N-エピタキシャル層  
111 ドリフト領域  
112 N+ソース領域  
114 P+コンタクト領域  
116 P-ボディ領域  
117 酸化層  
118 ソースコンタクト  
120 基板  
121 ゲート金属領域  
122 (トレンチの) コーナー部分  
150 基板  
151 (第1の) N-エピタキシャル層  
152 (第2の) N-エピタキシャル層  
153 フィールド酸化層  
154 酸化層  
155 ゲート酸化層  
156 ポリシリコンゲート  
157 P-ボディ領域  
158 ソース領域  
159 ホウ素リン珪酸ガラス(BPSG)層  
160 Nデルタ層  
161 P+コンタクト領域  
162 金属層  
180 高い抵抗率の領域  
181 デルタ層  
182 中央P+領域  
183 中央P+領域  
184 デルタ層  
200 MOSFETセル  
300 MOSFETセル  
302 (P+コンタクトの) 下端部  
304 N+シンカー領域  
306 ドレインコンタクト  
312 ドリフト領域  
314 高い抵抗率の領域  
316 デルタ層  
318 N埋込層  
380 P基板



【図1】

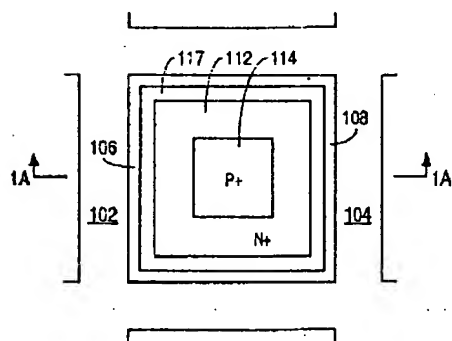


【図2】

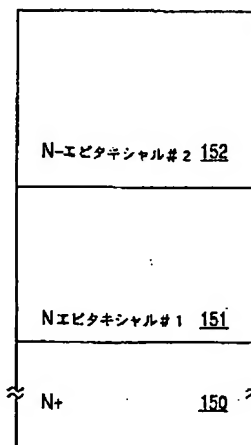
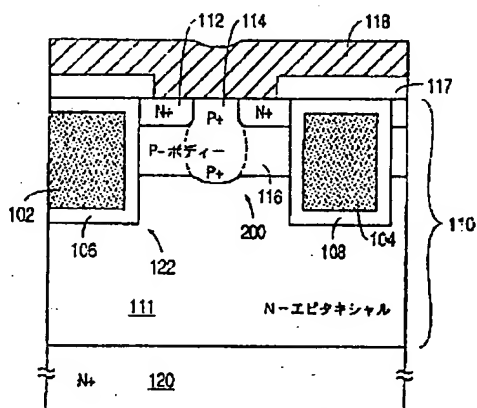


【図14】

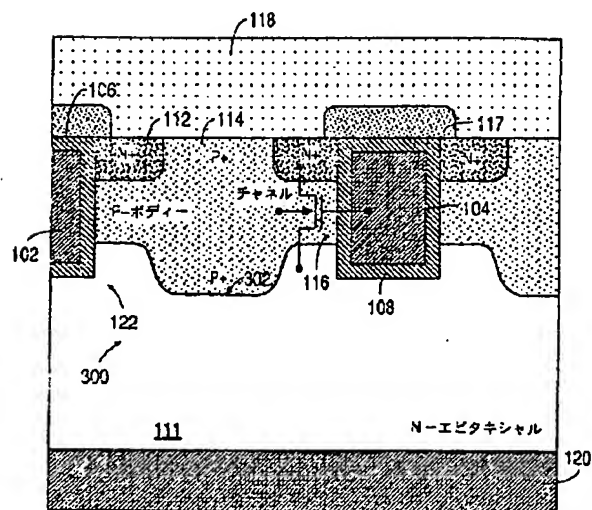
【図3】



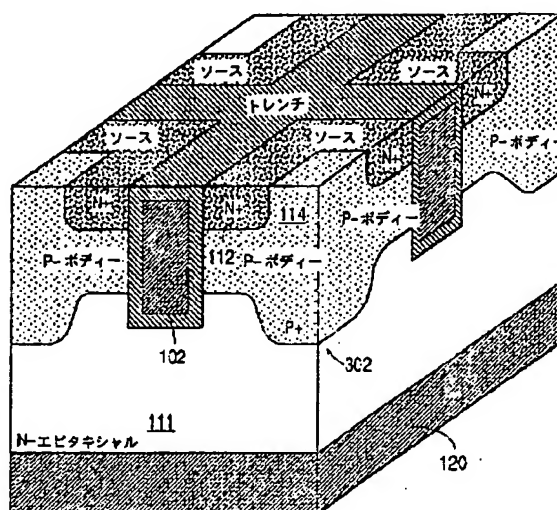
【図4】



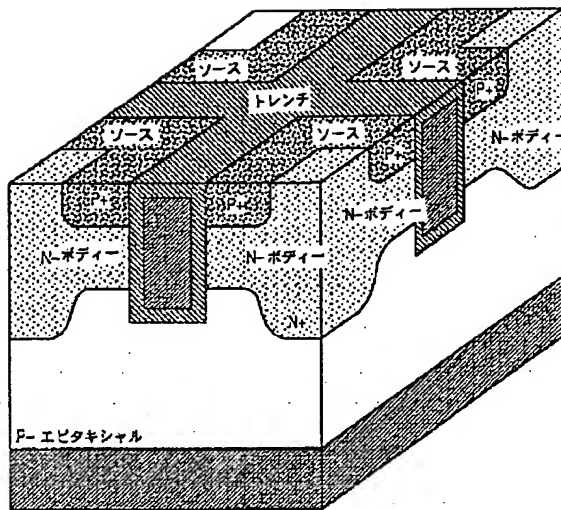
【図5】



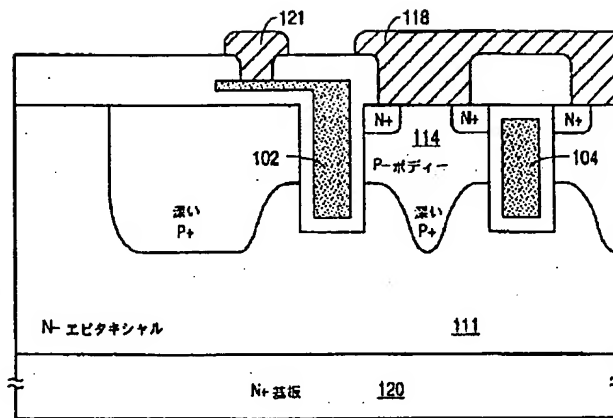
【図6】



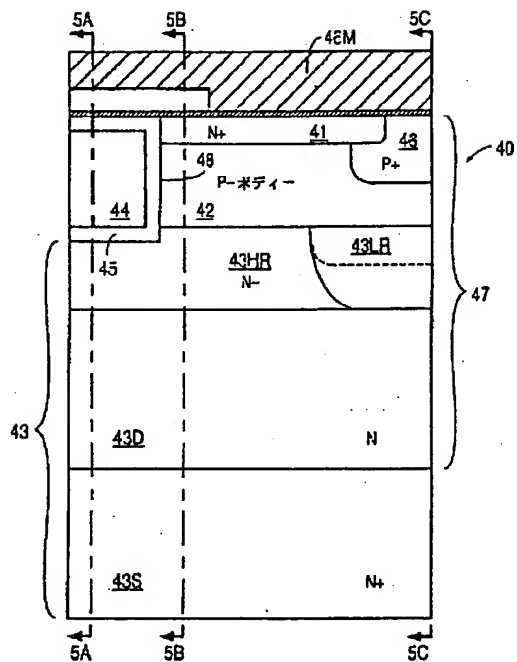
【図7】



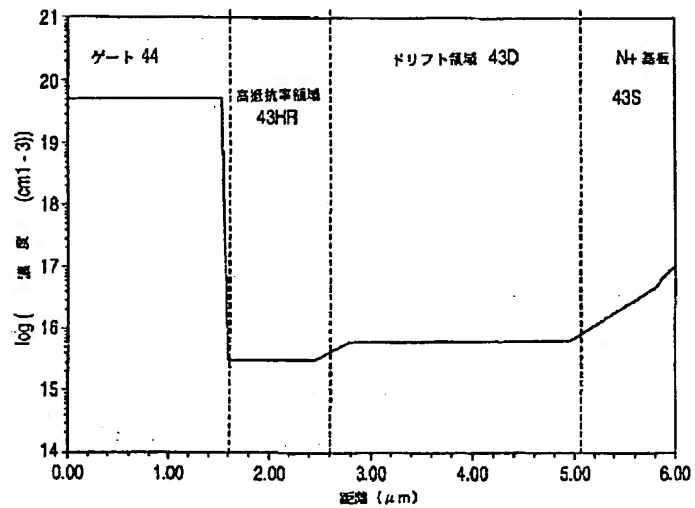
【図8】



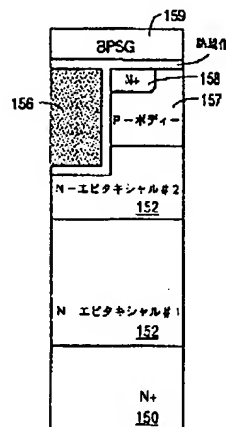
【図9】



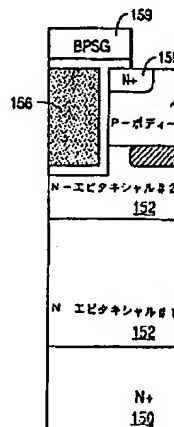
【図10】



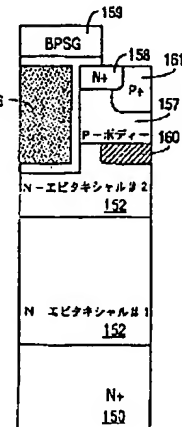
【図19】



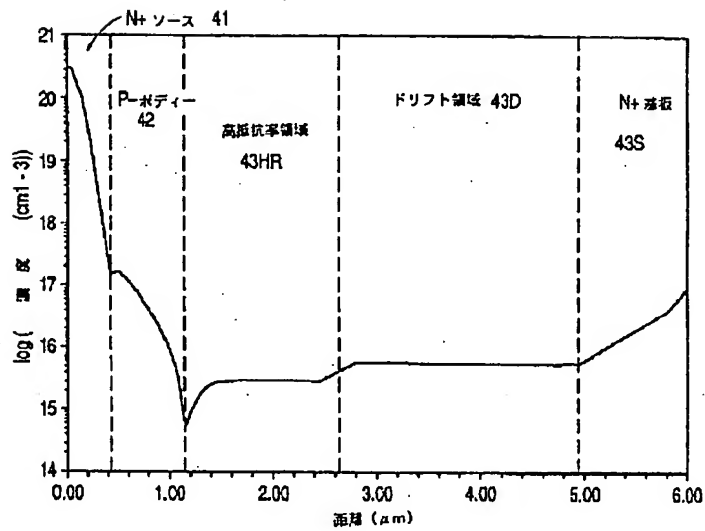
【図20】



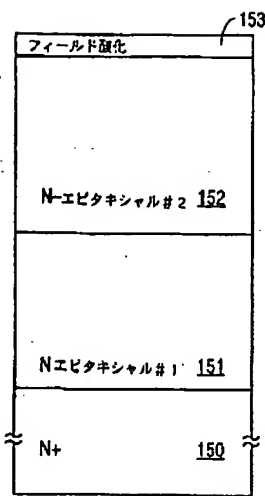
【図21】



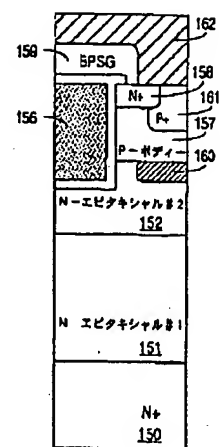
【図11】



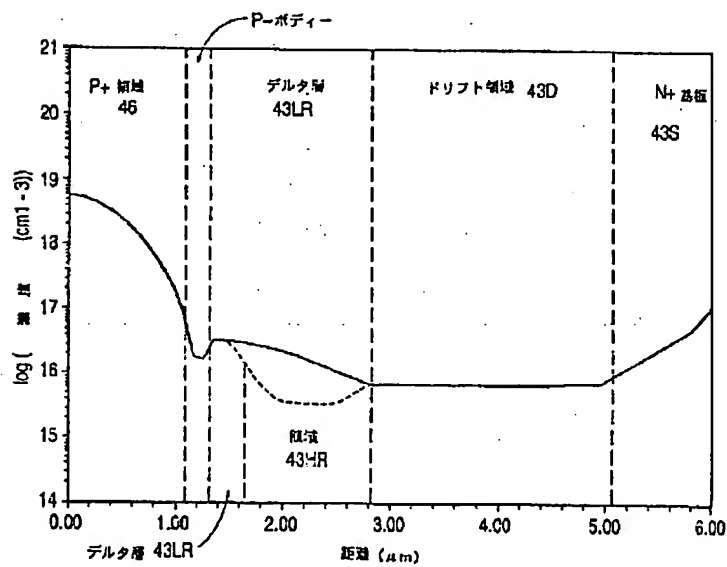
【図13】



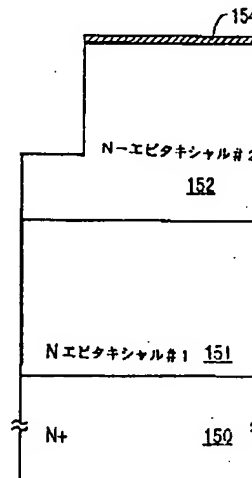
【図22】



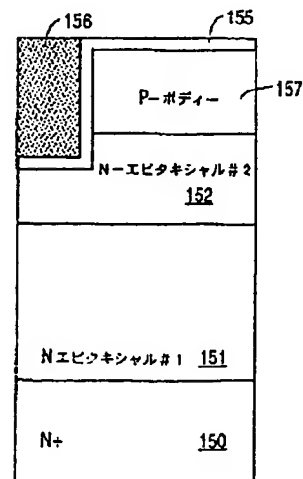
【図12】



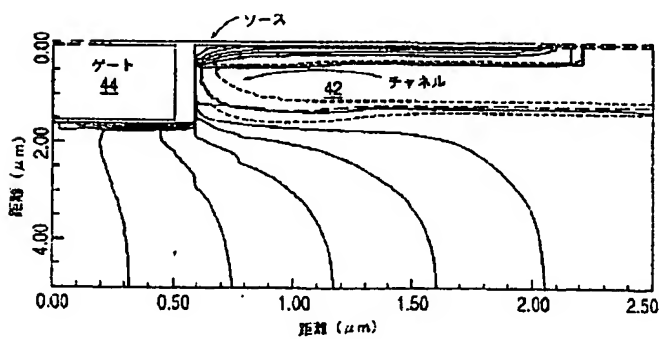
【図15】



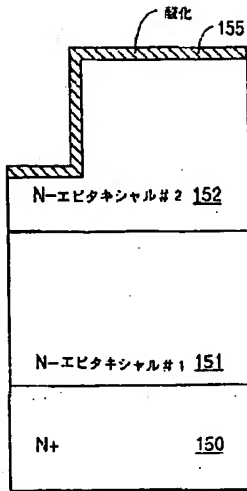
【図18】



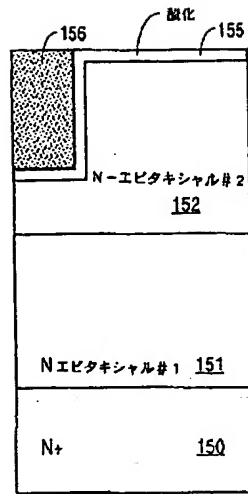
【図28】



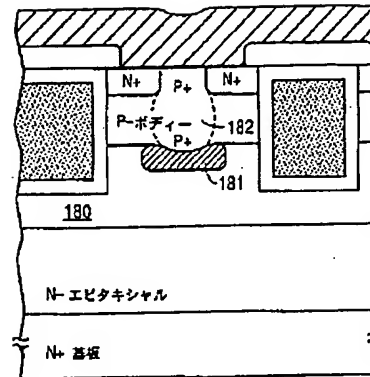
【図16】



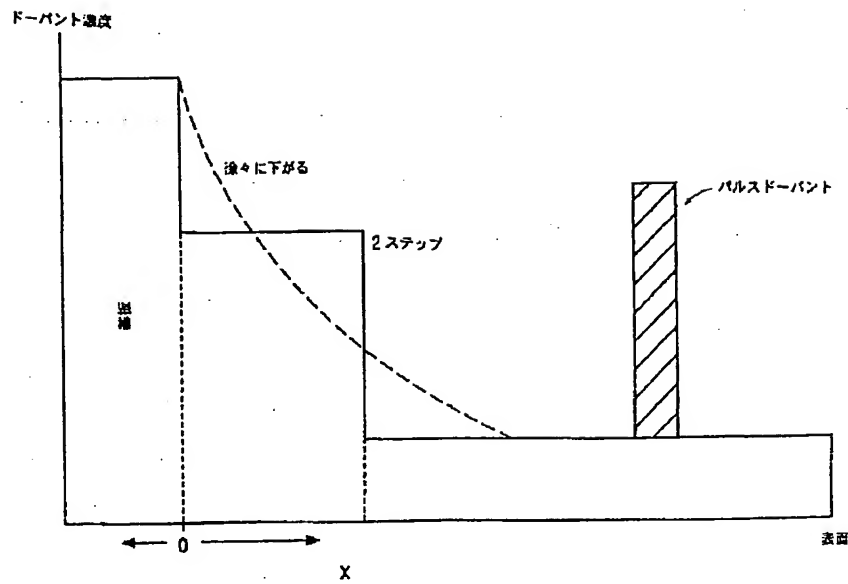
【図17】



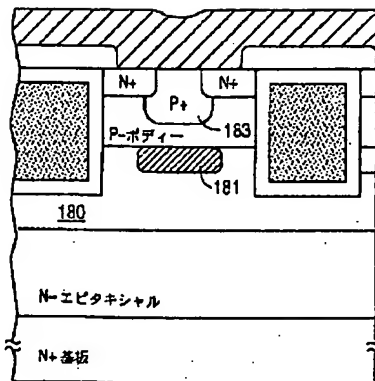
【図24】



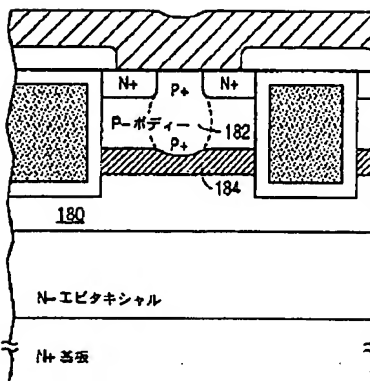
【図23】



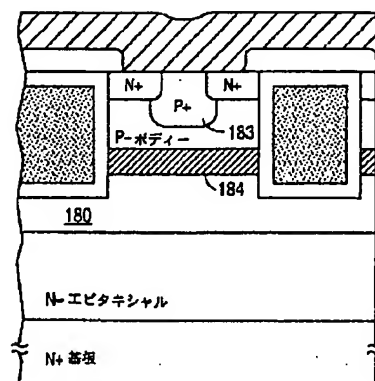
【図25】



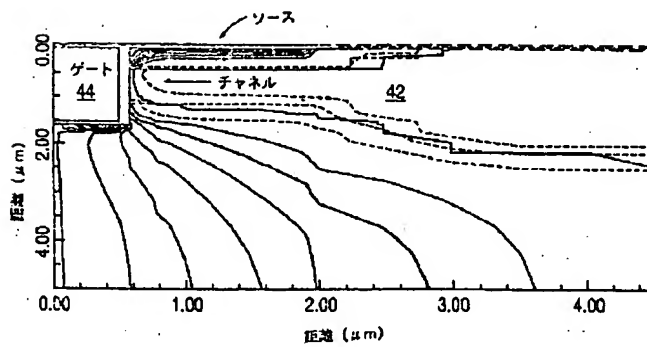
【図26】



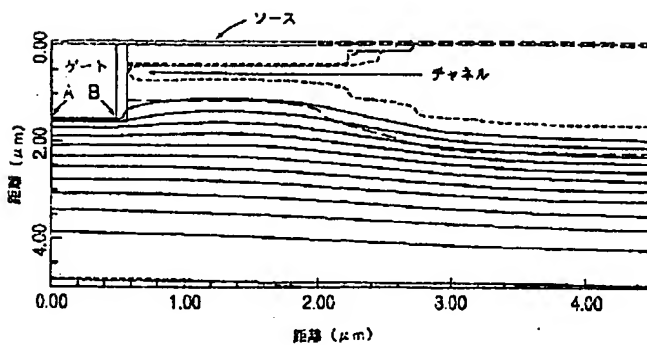
【図27】



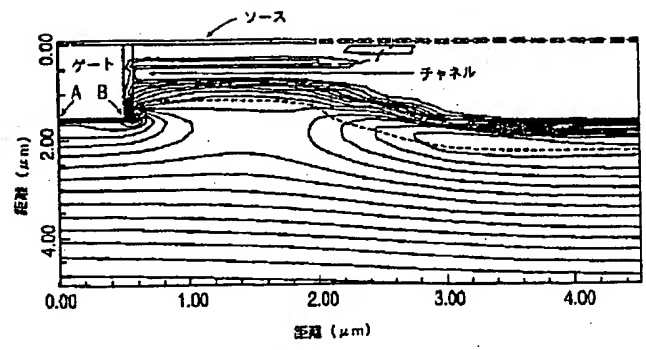
【図29】



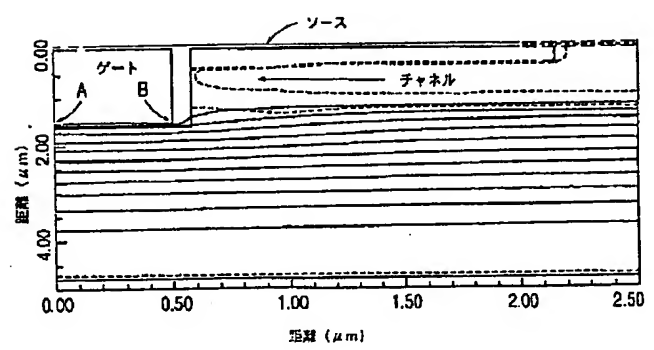
【図30】



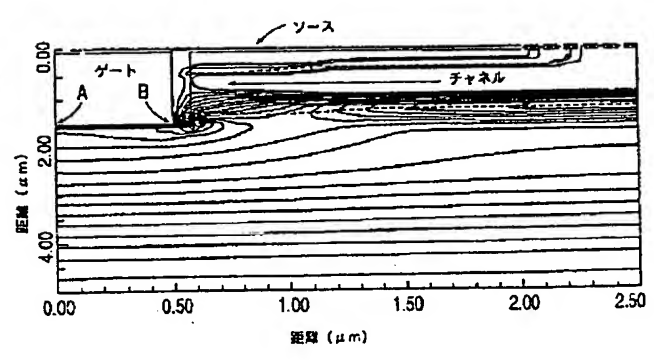
【図31】



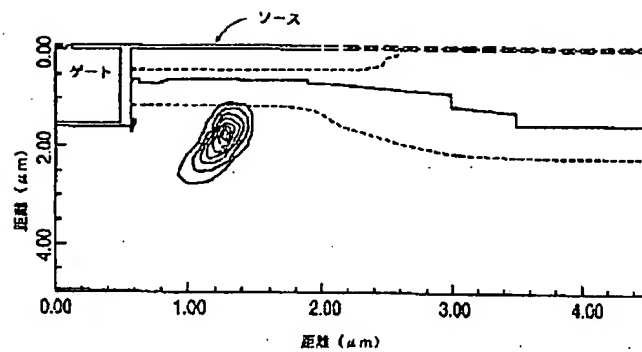
【図32】



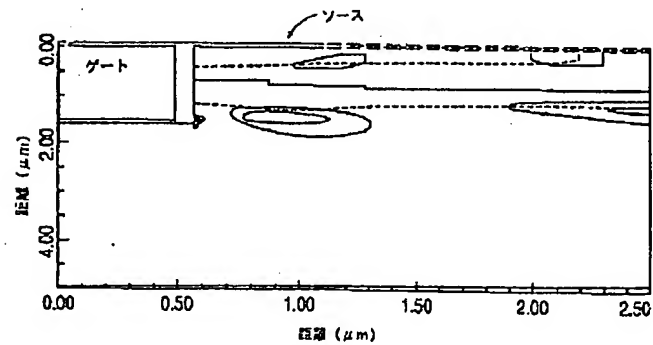
【図33】



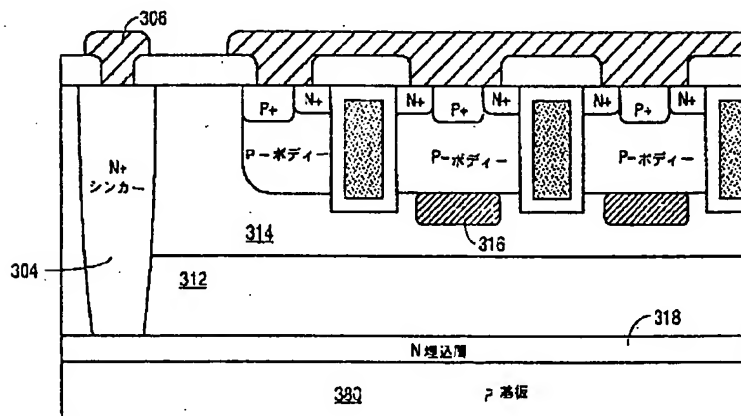
【図34】



【図35】



【図36】



フロントページの続き

(72)発明者 リチャード・ケイ・ウィリアムズ  
 アメリカ合衆国カリフォルニア州95014・  
 クーペルティーノ・ノーウィックアベニュー  
 — 10292

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**